

補助事業番号 2018M-124

補助事業名 平成30年度 局所座屈を利用した微視構造制御による
可変剛性ゴムの開発補助事業

補助事業者名 島根大学総合理工学部 機械・電気電子工学科 森本卓也

1 研究の概要

多数の空孔が空間的に配置された微視構造を持ったゴムが外力を受けて局所座屈を生じることを利用した可変剛性ゴムを開発するために、(1) 圧縮試験による荷重—変位応答において大きな剛性変化を発現させ、(2) 加振試験による周波数応答において制振特性をチューニングできることを実証するための実験とシミュレーションを行った。

2 研究の目的と背景

ゴム部材の剛性を変化させることで制振特性を能動的に制御することは、除振・防振・免震のゴム製品開発に革新的な飛躍をもたらすものと考えられている。近年の研究開発では、ゴムに圧電素子を組み合わせることで電場を印加することでゴムの剛性を変化させ、吸収できる振動数を変化させて制振特性の能動的な制御を実現する試みもなされている。しかし、電力や付属システムを必要となるため、高コストで長期間の使用に対する信頼性が低くなってしまふ欠点がある。そこで、本補助事業では純粋な力学原理のみを利用した可変剛性ゴムの開発を行う。この可変剛性ゴムでは電力を必要とせず、より安価でよりロバストな特性を実現することが期待できる。ゴムのバルクに数ミリ程度の長さスケールの空孔を空間的に形成してメソスケールの微視構造を導入すると、ゴムが受けた荷重に応じて空孔が局所的に変形していき、ある荷重で局所座屈を生じる。この局所座屈が連続的または断続的に生じることで、巨視的に観測されるゴムの剛性変化を実現できる。この局所座屈を動力化して剛性をチューニングするアイデアをもとに、多数の空孔が空間的に配置された微視構造を持ったゴムが外力を受けて局所座屈を生じることを利用した可変剛性ゴムを開発することが、本事業の最終的な目的である。

3 研究内容

(1) 局所座屈を利用した微視構造制御による可変剛性ゴムの開発

①シミュレーション

有限要素解析による荷重—変位応答（圧縮試験）および周波数応答（加振試験）を予測するためのシミュレーションを実施した。まず、汎用有限要素ソフトウェア Abaqus/Standard©を用いて、微視空孔が規則的に配列したゴムブロックが圧縮変形を受ける有限要素モデルを平面ひずみ下で構築した。ゴムブロックの材料モデルにはネオ・フックモデルを、要素には6節点ハイブリッド平面ひずみ要素（CPE6H）を用いた。ゴムブロックは剛体平板で挟まれ、上部平板を変位させることで実験条件を模擬した。次に、周波数応答に関するモデリングでは線形摂動解析を用いて、実験条件と模擬した正弦波加振をゴム

ブロックの左端から入力し、右端での加速度応答から伝達特性をシミュレートした。図 1a

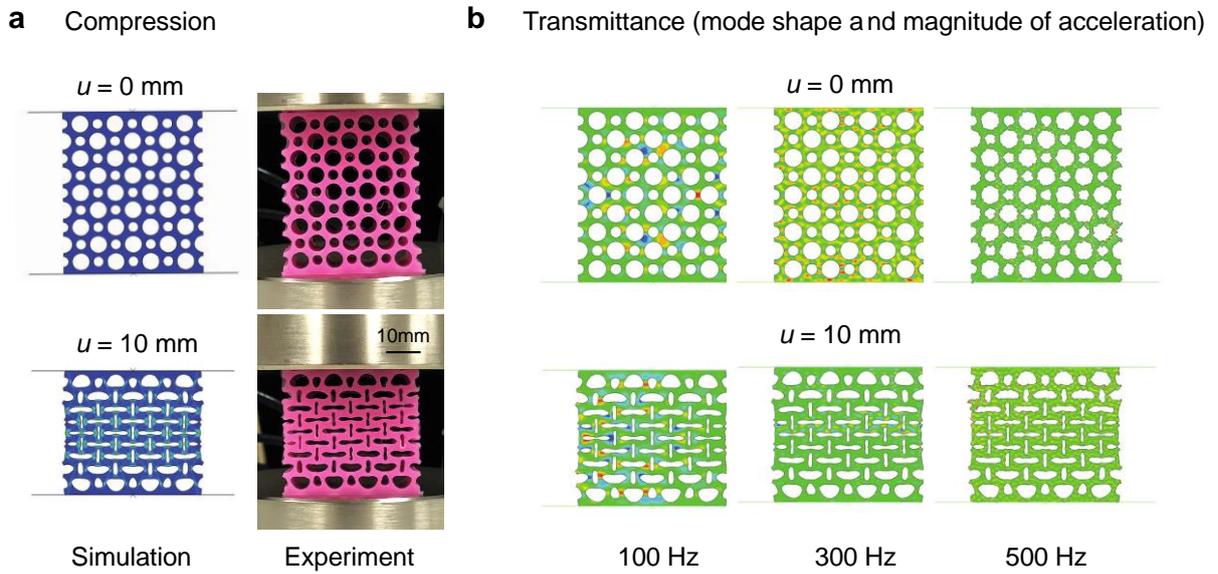
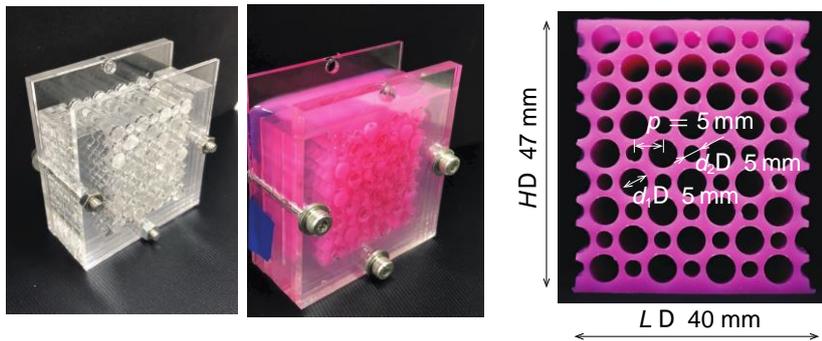


図1 シミュレーション

a Sample preparation by pouring silicone rubber (Polyvinylsiloxane) into the mould.



b Compression experiments

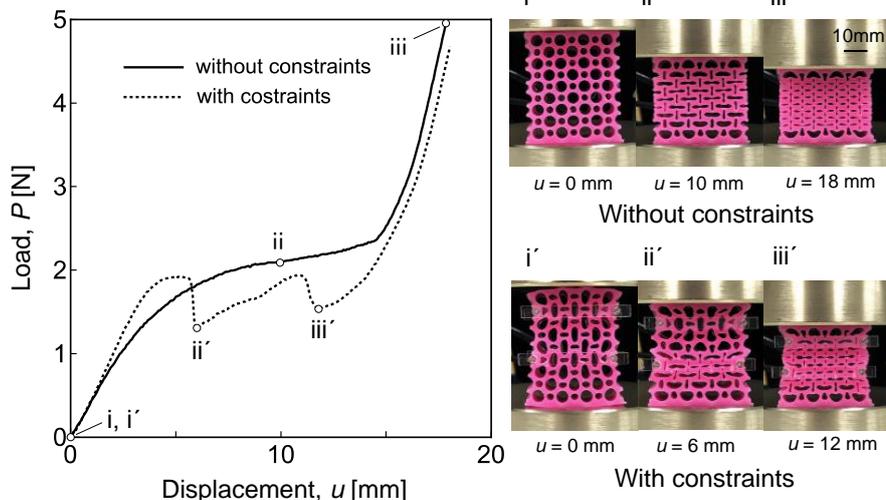


図2 実験 (圧縮試験)

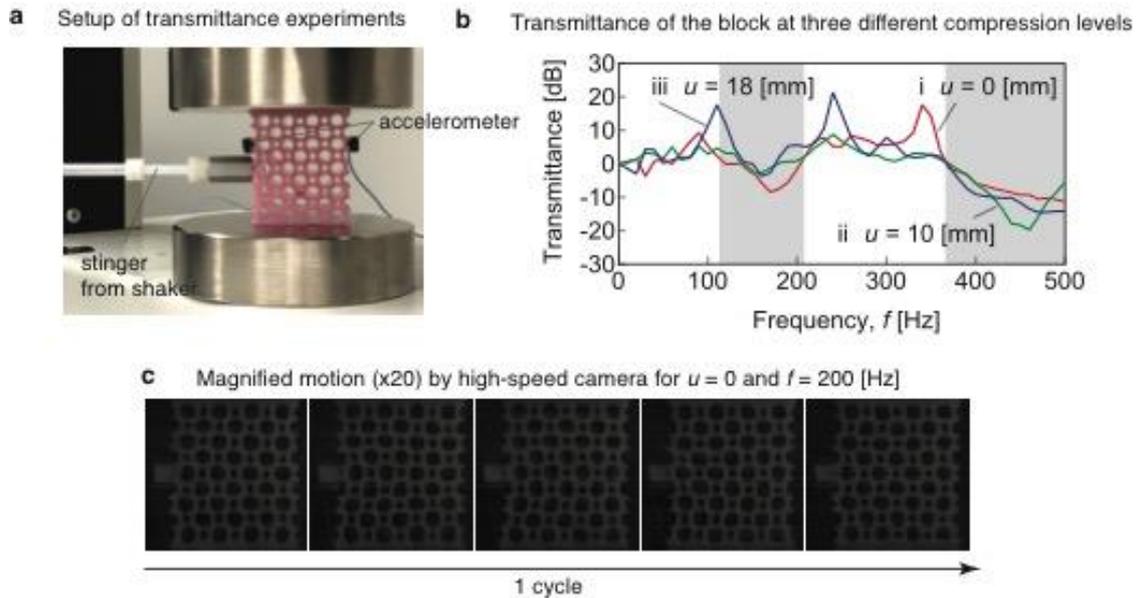


図3 実験(加振試験)

は、圧縮試験のシミュレーションによるゴムブロックが局所座屈を伴う際の荷重—変位曲線および変形形状を示している。圧縮の過程で空孔が局所的な変形をして押しつぶされていることが確認でき、実験の観測結果による形状とよい一致を示している。図 1b は、加振試験による振動モードと加速度の大きさの空間分布を示している。400–500Hz では空孔の周辺に微小な変形モードを生じていることが確認できる。

②実験

微視構造を有する可変剛性ゴムの試験片を作成し、実験系のセットアップと計測手法を確立し、可変剛性ゴムの圧縮試験および加振試験を実施した(図 2a)。まず、現有の引張・圧縮試験機(Autograph AGS-H, Shimadzu)に 100N のロードセルを用いて圧縮試験を実施し、荷重—変位曲線を取得した。実験中の変形の様子は高速度カメラ(NZ3-S4, IDT)またはデジタルカメラ(D90, Nikon)により撮像できるようにセットアップし、多数の空孔が断続的に変形する様子を観測した。次に、これらのサンプルが圧縮された状態下で加振器(K2004E01, Modal Shop)により微小振動を印可し(図 3a)、振動特性の測定・観測を加速度センサ(PCB Piezotronics, 352C22)で、ならびに高速度カメラを用いて微小な振動挙動を撮像した。圧縮試験では、サンプル内で安定的かつ断続的に局所座屈を生じさせるために、(i) 圧盤によって直接圧縮されるケースに加えて、(ii) 圧盤とサンプルとの間にプレートを設置するケースの二通りを実施し、サンプルを圧縮する方法(境界条件)の相違によって、それぞれ (i) 段階的に上部から局所座屈を生じるモード、および (ii) 対称的に中央部から局所座屈を生じるモードがあることを明らかにした(図 2b)。加振試験では、圧縮変位の大きさに応じて、100–200Hz 近傍での制振周波数のバンド幅が変化すること、ならびに 360–500Hz の周波数領域では圧縮変位の大きさによらずに制振特性が得られることが明らかとなった(図 3b)。高速度カメラ(IDT, NX3-S4)を用いて加振状態を撮像することにより、伝達特性に及ぼす変形の空間情報を時系列で得ることができた(図 3c)。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究は、トレッドゴムと路面とのすべり摩擦が予測可能なシミュレーションモデルの構築を目指したものである。二種のゴム材料から作製されることでトレッドゴムに導入した力学的な因子である予ひずみや、幾何の因子であるトレッドと路面のパターンが摩擦特性に及ぼす影響に関する知見は、より複雑で現実的な製品（ゴムシューズ／ゴムタイヤと路面とのすべり接触）での摩擦特性の理解の一助となると期待される。また、本事業で構築したシミュレーション技術とデジタルファブリケーションを活用した一連のデスクトップ試作試験法は、製品開発の初期段階において新たな製品開発のアイデアを生み出す試作ツールとして活用されるものと期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

やわらかい材料と構造の力学に関する教育・研究活動を行っている中で、特に座屈現象に興味を持っている。その中で、やわらかい材料であるゴムと局所座屈現象を組み合わせた本課題を着想した。本事業では、計算技術と実験技術の統合によって、限られた研究資源しか持たない小さな研究開発規模で実現可能なモデルベースデザインのフレームワークを構築した。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【学会発表】

1. 斎藤卓, 森本卓也, 芦田文博, 井上直哉, 多数の空孔が配置されたゴムブロックの可変剛性特性, 日本機械学会中国四国支部第 49 回卒業研究発表講演会(2019 年 3 月 6 日, 山口大学).

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの
該当なし
- (2) (1) 以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 島根大学
(シマネダイガク)
住 所： 〒690-8504
島根県松江市西川津町 1 0 6 0
申 請 者： 准教授 森本 卓也 (モリモト タクヤ)
担 当 部 署： 総合理工学部 機械・電気電子工学科
(ソウゴウリコウガクブ キカイデンキデンシコウガッカ)
E - m a i l : morimoto@riko.shimane-u.ac.jp
U R L : http://ecs.riko.shimane-u.ac.jp/~em/index_jp.html